

**SCENÁRE ZMIEN VÝŠKOVÉHO PRÚDENIA NAD STREDNOU EURÓPOU NA
ZÁKLADE VÝSTUPOV CCCM 2000**

**SCENARIOS OF UPPER FLOW CHANGES IN CENTRAL EUROPE USING CCCM
2000 OUTPUTS**

Damborská Ingrid – Gera Martin – Martíni Matúš

Oddelenie meteorológie a klimatológie KAFZM FMFI UK v Bratislave

Abstrakt

The atmospheric circulation is one of the determining factors that affects climatic factors in given region. Analysis of the atmospheric circulation is possible only for relatively large areas. This approach enables to analyse some trend of stationary pressure system distribution and steady planetary waves which influence climate in Central Europe, and so in Slovakia. This paper deals with consideration of the atmospheric circulation at 500 hPa level and its influence on permanent and semi-permanent centres of action locations in Euro-Atlantic area. Surface pressure systems affects synoptic objects in upper atmospheric layers/levels and vice-versa. From this reason first step of dynamical analyses of climatic conditions is to analyse changes in geopotential altitude of air pressure level AT 500 hPa using coupled model CCCM 2000 outputs and ERA-40 reanalysis. Secondly, the scenarios of upper atmospheric flow changes in Central Europe and in the Atlantic area until 2100 have been prepared on model outputs base. The analysed region was bordered by longitudes – 82.5°W and 55.0°E (56 grid points) and by latitudes 22.5°N and 72.5°N (21 grid points). Main statistical characteristics was used for dynamic features quality of climatic model assessment.

Key words: climatic models – general atmospheric circulation – statistical characteristics – climate change scenarios – geopotential field

Úvod

V súčasnosti k najpoužívanejším klimatickým modelom patria prepojené modely všeobecnej cirkulácie a oceánsko-atmosférické modely, ktoré vo svojich výstupoch poskytujú časové rady s rôznym priestorovým a časovým rozlíšením (globálne cirkulačné modely, GCM). Z pohľadu priestorového rozlíšenia sú značne zhladené. Parametrizácia fyzikálnych procesov pri použitej modelovej sieti musí pritom reprezentovať rozsiahle oblasti s rozmermi až 300x300 km. Stupeň interakcie medzi horizontálnym a vertikálnym rozlíšením klimatických modelov a interakcia fyzikálnych parametrizácií s rôznymi rozlíšeniami výrazne

sťažujú konvergenciu riešenia modelu a tým aj stanovenie optimálneho priestorového a časového rozlíšenia modelu, ktoré by mohlo byť použité. Napr. zvýšenie numerickej presnosti v prípade advekcie prúdenia, ako aj dokonalejšie horizontálne rozlíšenie môže viesť k presnejšiemu vyjadreniu spodnej hranice modelu (orografia a vlastnosti povrchu), a teda aj regionálnej klímy modelu. To si však vyžaduje ešte veľa úsilia v oblasti zlepšenia numerických metód a postupov.

Konštrukcia a výpočet regionálne interpretovaných klimatických scenárov a regionálnych klimatických modelov v spätosti s globálnymi klimatickými modelmi má určité obmedzenia, vyplývajúce z matematických a fyzikálnych možností modelovania klimatických procesov. Je potrebné zvážiť, nakoľko je model schopný vyjadriť súčasnú klímu v jej časovej a priestorovej variabilite. Pri interpretácii modelových výstupov pre malú oblasť musíme brať zreteľ na nasledujúce fakty:

- rozlíšenie modelu (výstupy nereprezentujú reálne sa vyskytujúcu klímu v danom bode),
- krok časových simulácií,
- neporovnateľnosť modelových a meraných charakteristík,
- parametrizácia fyzikálnych procesov menšieho rozsahu ako je krok výpočtovej siete modelu (pre klímu malých oblastí).

Preto v prípade regionálnej modifikácie výstupov by mohlo dôjsť k porušeniu fyzikálnej konzistentnosti prvkov. Pod regionálnou modifikáciou rozumieme prispôbenie veľkosti, variability a niekedy aj extrémov členov radu vo výstupoch GCM pozorovanej klímy v referenčnom období. Pritom sa ďalej predpokladá, že rovnaká modifikácia sa aplikuje aj v modelovom období.

Zatiaľ čo horizontálne rozlíšenie $2,5^\circ$ (T42) alebo vyššie je v mnohých prepojených modeloch pravdepodobne postačujúce na vysvetlenie najdôležitejších horizontálnych vlastností atmosféry, bežne používané vertikálne rozlíšenie okolo 20 hladín je príliš nízke, hlavne v hraničnej vrstve atmosféry a blízko tropopauzy. Nesprávna numerická disperznosť spolu s chybami v parametrizáciách a neúplnými modelovanými procesmi môže viesť k produkovaniu falošných zdrojov entropie. To si vyžaduje ďalší výskum a zlepšenia v oblasti numerického modelovania.

V súčasnosti z modelových výsledkov je zrejmé, že schéma atmosférickej intrasezónnej a interanuálnej premenlivosti prvkov zodpovedá cirkulačným pomerom (lokálne maximum hustoty pravdepodobnosti atmosférických premenných). Corti na základe atmosférických údajov poukázal na štyri odlišné cirkulačné schémy na zimnej severnej pologuli. Tieto geografické schémy zodpovedajú konvenčným schémam nízkofrekvenčnej atmosférickej klimatickej premenlivosti, ktoré zahŕňajú tzv. „Cold Ocean Warm Land”

schému (COWL), negatívnu „Pacific North American“ schému a tzv. negatívnu „Arctic Oscillation“ schému.

Zjednodušené dynamické modely, ktoré vyjadrujú základné aspekty cirkulácie atmosféry, reagujú zväčša na vonkajšie vynútenie skôr zmenami vo frekvencii schémy ako zmenami v samotných schémach. Preto je možné vyjadriť antropogenicky vynútené zmeny klímy meniacou sa frekvenciou modelu. Zdá sa, že pozorované zmeny na severnej pologuli môžu byť spojené v určitej oblasti s častejším výskytom COWL. Tieto výsledky naznačujú, že podrobné predpovede antropogenickej klimatickej zmeny si vyžadujú modely, ktoré môžu správne simulovať skutočné cirkulačné schémy a ich variabilitu napriek tomu, že majorantná časová mierka tejto variability môže byť oveľa kratšia ako samotný signál klimatickej zmeny, na čo bolo nedávno poukázané v GCM simuláciách.

Atmosférická časť klimatického modelu CCCM 2000 (Kanadské centrum pre modelovanie klímy a analýzy), ktorý je najnovším trojrozmerným modelom atmosférickej cirkulácie prepojeným s jednoduchým modelom oceánu a termodynamickým modelom morského ľadu, má horizontálne rozlíšenie T32/L10, t.j. ide o spektrálny model s 32 vlnami v zonálnom smere (čomu zodpovedá vzdialenosť gridových bodov približne 3,75°). V meridionálnom smere pri použití Gaussovho gridu je rozlíšenie približne 3,75°. Vo vertikálnom smere má 10 hladín. Oceánická časť modelu používa vyššie horizontálne rozlíšenie s dvojnásobne hustejšou gridovou sieťou (1,875° podľa zemepisnej dĺžky a 1,856° podľa zemepisnej šírky) a s 29 vertikálnymi hladinami. Tento model poskytuje okrem veľkého počtu výstupov základných klimatických prvkov aj modelové hodnoty geopotenciálu v rôznych výškach, pomocou ktorých je dobre vyjadrený charakter atmosférickej cirkulácie. Zmeny poľa geopotenciálnych výšok tlakových hladín vzduchu nad Európou a severným Atlantikom podmieňujú zmeny polohy akčných centier, čím ovplyvňujú zmeny klimatických prvkov. Znamenajú zmenu smeru a rýchlosti prízemného a výškového prúdenia v oblasti výskytu synoptických útvarov, ovplyvňujúcich počasie a klímu strednej Európy.

Vzhľadom na potrebu regionálnej adaptácie údajov a s ňou spojených problémov, o ktorých sme hovorili vyššie, je nevyhnutné prispôsobiť modelové údaje vhodne zvolenou metódou, ktorá nenarúša štatistickú štruktúru a konzistentnosť medzi jednotlivými klimatickými prvkami. Pre získanie štatistických závislostí, potrebných pre danú modifikáciu, je dôležité poznať skutočný trojrozmerný obraz atmosféry. Za týmto účelom sme využili výstupy z projektu ERA-40. Jeho hlavným cieľom je vytvorenie podrobných globálnych analýz, popisujúcich stav atmosféry, pevniny a oceánu od r. 1958 do 2001 a na základe dostupných údajov z pozorovaní, analýz a výskumných správ podporovanie medzinárodného výskumu. Dôležitou súčasťou tohto projektu je archivácia údajov, ktorá je nevyhnutná pre samotné reanalýzy ako aj ďalšie využitie a spracovanie pozorovaní, analýz a diagnostických informácií, získaných analytickými metódami. V tomto archíve sú uložené všetky základné

údaje a slúži k zabezpečeniu požiadaviek produkčného systému pre účely reanalýzy a taktiež požiadaviek užívateľov. ERA-40 pripravuje súbory údajov, ktoré sú archivované prostredníctvom meteorologického archívu ECMWF a vyhľadávacieho systému (MARS).

Tieto údaje zahŕňajú:

- pozorovania,
- analýzy a predpovedné polia z asimilačného modelu atmosféry s úplným rozlíšením,
- analýzy a predpovedné polia z atmosférického modelu, vypočítané pre štandardné tlakové hladiny,
- analýzy a predpovedné polia, získané z atmosférického modelu pre izentropické plochy a povrch potenciálnej vorticity $PV=\pm 2$,
- analýzy a predpovedné polia z atmosférického modelu v pravidelnej sieti $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,
- analýzy a predpovedné polia z prepojeného oceánicko-vlnového modelu v pravidelnej sieti $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$,
- mesačné priemery, rozptyly a kovariancie,
- časové rady,
- vybrané diagnostické a odvodené údaje.

Ďalšie, doplnujúce údaje sú generované ako súčasť vyhodnocovacej fázy projektu.

Atmosférický model, ktorý používa ERA-40, má nasledovné rozlíšenie:

- 60 hladín vo vertikálnom smere,
- T159, sféricko-harmonické zobrazenie základných dynamických polí,
- redukovanú Gaussovu mriežku s približne homogénnym 125 km krokom na povrchu.

Polia sú archivované v štandardnej 2.5° mriežke rovnako ako aj v ich základnom modelovom tvare (T159 sférická harmonická alebo zodpovedajúca redukovaná Gaussova mriežka). Údaje sú bežne archivované ako kompletne súbory polí pre daný čas analýzy a môžu byť uložené aj v tvare časových radov.

V článku sa zameriame na porovnanie výstupov prepojeného atmosféricko-oceánického modelu CCCM 2000 pre geopotenciálnu výšku izobarickej hladiny 500 hPa s reanalýzami, získanými z ERA-40 a na štatistické charakteristiky modelovej klímy v oblasti severného Atlantiku a Európy v referenčnom období 1961-1990. Ďalším cieľom našej práce je rozbor možných zmien výškového atmosférického prúdenia nad strednou Európou na základe výstupov CCCM 2000 a ERA-40 pre obdobie 2002-2100.

Materiál a metódy

Pre porovnatelnosť modelových výstupov CCM 2000 a reanalýz ERA-40 boli modelové výstupy s približným rozlíšením $3,75^\circ \times 3,75^\circ$, upravené lineárnou interpoláciou na rozlíšenie, identické s rozlíšením reanalýz, čo predstavuje v pravidelnej sieti krok $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. Analyzovaná oblasť je teda ohraničená zemepisnou dĺžkou $-82,5^\circ$ z.z.d. a $55,0^\circ$ v.z.d. (56 uzlových bodov) a zemepisnou šírkou $22,5^\circ$ s.z.š. a $72,5^\circ$ s.z.š. (21 uzlových bodov).

Na spracovanie boli použité mesačné priemery geopotenciálnej výšky hladiny 500 hPa v metroch v období 1961-2100 z modelu CCCM 2000 (A2-SRES) a reanalýzy v geopotenciálnych metroch za obdobie 1958-2001, získané z projektu ERA-40.

Za referenčné obdobie sme zobrali 30-ročné obdobie 1961-1990.

Voľba vybranej metodiky a použitej štatistiky bola ovplyvnená potrebou získať prehľad o náhodnej a systematickej chybe ako aj priestorovej štatistickej štruktúre údajov. Zvolené štatistické charakteristiky boli aplikované priamo na jednotlivé rady údajov a taktiež na vzájomné odchýlky modelového radu od skutočných meraní.

Ako charakteristiku polohy sme vybrali pre svoje výhodné vlastnosti jednoduchý aritmetický

priemer $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$ (prvý začiatkový moment premennej).

Z mier variability bola použitá výberová disperzia $s^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2$, ktorá charakterizuje variabilitu súboru vo štvorcoch pôvodných merných jednotiek. Vzhľadom na praktickú potrebu interpolácie výsledkov rozboru menlivosti súborov sa musíme snažiť vyjadriť variabilitu v pôvodných merných jednotkách. Dosiahneme to vypočítaním kladného koreňa rozptylu, ktorý nazývame štandardnou (smerodajnou) odchýlkou s .

Variabilitu v rôznych štatistických súboroch umožňujú porovnávať pomerné (relatívne) miery, ktoré charakterizujú variabilitu vzhľadom na aritmetický priemer, t.j. jednotkou, v ktorej sa variabilita vyjadruje, je \bar{x} . K najčastejšie používaným relatívnym mieram variability patrí variačný koeficient, ktorý sa vypočíta ako podiel štandardnej odchýlky

a aritmetického priemeru (často sa vyjadruje v percentách) $v_k = \frac{s}{\bar{x}} 100$.

Rozdelenie početnosti v štatistickom súbore môže byť súmerné (symetrické) alebo zošikmené (doľava alebo doprava). Šikmosť vyjadruje stupeň asymetrie rozdelenia veličiny okolo strednej hodnoty. O zošikmení doľava hovoríme vtedy, keď je vrchol v grafe rozdelenia početnosti posunutý doľava vzhľadom na aritmetický priemer, t.j. početnosti sú sústredené pri nižších hodnotách znaku a smerom k vyšším hodnotám postupne klesajú. V opačnom prípade ide o pravostrannú asymetriu. Rozsah zošikmenia sa charakterizuje mierami šikmosti, od ktorých sa požaduje, aby to boli čísla nezávislé od merných jednotiek, v ktorých sú vyjadrené hodnoty znaku a aby sa rovnali nule v prípade úplnej symetrie. Koeficient šikmosti

(asymetrie) je momentová miera šikmosti. Ide o tretí moment normovanej premennej

$\gamma = \frac{\mu_{x,3}}{s_x^3}$, kde $\mu_{x,3}$ je tretí centrálny moment ($\mu_{x,3} = \sum_{x=0}^{\infty} (x - \bar{x})^3 p(x)$). Pri úplne

symetrickom rozdelení sa rovná nule, pri ľavostrannej asymetrii je kladný a záporné hodnoty nadobúda pri asymetrii pravostrannej. Kladná šikmosť teda označuje rozdelenie, ktorého pozvoľnejšia časť je vychýlená ku kladným hodnotám a záporná šikmosť zase rozdelenie, ktorého pozvoľnejšia časť je vychýlená k záporným hodnotám.

Relatívnu strmosť alebo plochosť rozdelenia vzhľadom na špicatosť normálneho rozdelenia určuje špicatosť. Východiskom pre meranie špicatosti je štvrtý moment normovanej premennej $\mu_{t,4}$. Koeficient špicatosti ε je teda štvrtý moment normovanej premennej,

zmenšený o 3 a vypočítame ho podľa vzťahu $\varepsilon = \mu_{t,4} = \frac{\mu_{x,4}}{s_x^4} - 3$. Pre normálne rozdelenie

sa koeficient špicatosti rovná nule. Ak je záporný, ide o plochejšie rozdelenie a ak je kladný, o špicatejšie rozdelenie v porovnaní s normálnym rozdelením. Teda záporná špicatosť znamená, že rozdelenie je menej strmé ako normálne rozdelenie a v prípade kladnej špicatosti je rozdelenie strmšie ako normálne rozdelenie.

Štatistické charakteristiky boli počítané pre všetky uzlové body v zvolenej oblasti. Pre každý mesiac v referenčnom období boli priamo pre hodnoty modelu a reanalýzy vo všetkých uzlových bodoch vypočítané momentové charakteristiky polohy a rozptylu, a to jednoduchý aritmetický priemer \bar{x} a variačný koeficient v_k . Taktiež boli štatisticky vyhodnotené vzájomné odchýlky výstupov modelu a reanalýz za to isté obdobie pomocou nasledovných charakteristík: priemerná odchýlka, absolútna priemerná odchýlka, rozptyl, smerodajná odchýlka, koeficient šikmosti a koeficient špicatosti.

V ďalšom kroku sa na základe aritmetického priemeru a variačného koeficientu počítaného z referenčného obdobia previedla modifikácia modelových výstupov CCCM 2000 za účelom získania predĺženého časového radu reanalýz geopotenciálnych výšok v 500 hPa v období 1991-2100. Modifikovaný rad bol získaný nasledovným postupom:

1. $R_1 = M - (\bar{M} - \bar{R})$, kde M sú mesačné údaje CCCM 2000, \bar{M} je priemer CCCM 2000 a \bar{R} je priemer z reanalýzy.

$$2. Mo = \frac{v_{k,R}}{v_{k,M}} (R_1 - \overline{P_{R1}}) + \overline{P_{R1}} \quad (1.1)$$

kde $v_{k,R}$ je variačný koeficient počítaný z mesačných reálnych údajov, $v_{k,M}$ je variačný koeficient z mesačných modelových údajov, $\overline{P_{R1}}$ sú 30-ročné kľzavé priemery z hodnôt R_1 .

Z dôvodu overenia správnosti zvolenej metodiky sme zobrali 11-ročné kontrolné obdobie 1991-2001, v ktorom sme porovnali modifikované údaje z CCCM 2000 s reálnymi údajmi (reanalýzy) pomocou priemeru odchýlok a smerodajnej odchýlky počítanej z odchýlok týchto údajov.

Spracovanie údajov bolo vykonané pomocou softvéru, napísaného v programovacom jazyku FORTRAN, čo umožňuje dobrú prenosnosť medzi jednotlivými platformami operačných systémov a následné spracovanie akýchkoľvek ďalších klimatických prvkov. Získané výsledky sú vykresľované pomocou dostupného softvéru GrADS, vyvinutého v centre "Ocean-Land-Atmosphere Studies", USA.

Výsledky a diskusia

Scenár zmien výškového prúdenia v hladine 500 hPa bol vypracovaný pre Euro-Atlantickú oblasť. Severozápadný okraj mapy je v Grónsku a juhovýchodný v oblasti Červeného mora. Mapa teda zahŕňa celý severný Atlantik, na východe zasahuje po Ural a na juhu siaha po oblasť Sahary. Horizontálne rozlíšenie prepojeného modelu CCCM 2000 je $3,75^\circ \times 3,75^\circ$, čiže je menšie ako u modelu ERA-40, ktorý pracuje s $2,5^\circ$ krokom. Preto výstupy modelu CCCM 2000 boli interpolované na vyššie rozlíšenie, identické s rozlíšením reanalýzy. Zhustenie údajov bolo možné urobiť týmto spôsobom, nakoľko spracovávame hladinu 500 hPa, v ktorej sa už významne neprejavuje vplyv zhladenej modelovej orografie bez reálne sa vyskytujúcich regionálnych a lokálnych náveterných a záveterných efektov povrchu. Pritom však zostanú zachované makro-synoptické vlastnosti ako je ročný chod základných prvkov nad pevninou a oceánmi.

Keďže sme chceli porovnať štatistickú štruktúru údajov, spracovali sme mesačné štatistiky v sledovanom období. Výsledkom sú klimatické mapy priestorového rozloženia geopotenciálnych výšok v 500 hPa pre CCCM 2000 a reanalýzy. V prvej fáze spracovania sme získali štatistické charakteristiky v referenčnom období 1961-1990 pre každý mesiac v roku. Pre názornosť sme vybrali mesiace s najlepším a najhorším výsledkom, ktoré sú prezentované na obr. 1a-f, 2a-d, 3a,b, 4a,b jednak priamo pre samotné hodnoty modelu a reanalýz a jednak pre ich vzájomné odchýlky. Získané výsledky sú v zhode s očakávaniami. Tu je dôležité povedať, že prezentované výstupy je nutné interpretovať tak, že sú výsledkom rôznych cirkulačných procesov v uvažovanom období. Za bežných okolností, kedy dochádza k striedaniu rôznych typov cirkulačných procesov takým spôsobom, že žiadny z nich nie je prevládajúci, a teda výsledky sa kompenzujú, sa výsledné polia príliš nelíšia od priemeru. Z obr. 1c, 1f, 3a,b, 4a,b je zrejmé, že aj napriek značnému zhladeniu výstupov v dôsledku spriemerovania model dosahuje najlepšie výsledky v teplom polroku a relatívne horšie v chladnom polroku. Časové zhladenie vedie k tomu, že v 500 hPa hladine prakticky nepozorujeme uzavreté synoptické útvary, hoci sa tieto v skutočnosti tu vyskytujú, aj keď nie

s takou frekvenciou ako pri povrchu. V severozápadnom sektore analyzovanej oblasti pozorujeme v niektorých mesiacoch uzavreté polia nižších geopotenciálnych výšok, zatiaľ čo v ostatných oblastiach sú to len brázdy a hrebene geopotenciálnych izočiari. Tieto však v celkom dobrej zhode reprezentujú sezónnu variabilitu, čo možno vidieť z prezentovaných výsledkov (viď obr. 2a-d).

V chladnom polroku je cyklonálna činnosť intenzívnejšia, synoptické útvary sú vyjadrené výraznejšie a taktiež gradient polí medzi rovníkom a pólom je väčší. To má za následok zvýšenú premenlivosť jednotlivých prvkov, čo sa odráža aj na poli prezentovaných výstupov geopotenciálnych výšok. V nižších zemepisných šírkach sú výsledné chyby menšie ako vo vyšších zemepisných šírkach. Je to dôsledok stálosti cirkulačných pomerov v týchto oblastiach. Pokiaľ ide o mierne a vyššie zemepisné šírky, častá zmena cirkulácie atmosféry ako aj nestálosť poveternostných situácií vedie k väčšej chybe, t.j. odchýlky medzi modelom a skutočnosťou sú väčšie. Celkový obraz o chybe modelu a jeho schopnostiach zachytiť sezónnu premenlivosť cirkulácie atmosféry možno vidieť z mapového znázornenia odchýlok jednotlivých štatistických veličín (viď obr. 1c,f, 3a,b, 4a,b). Pritom je ťažšie posúdiť, pre ktorý konkrétny mesiac model dosahuje najlepšie a najhoršie výsledky v dôsledku rôznej povahy vybraných štatistických charakteristík. Z týchto obrázkov je opäť zrejماً tendencia zhoršených výsledkov v chladnom polroku. Najväčšia chyba je pozorovaná v apríli, kedy maximálna odchýlka dosahuje hodnotu až -155 m. Pritom v celej sledovanej oblasti došlo k podhodnoteniu modelových výstupov v porovnaní s realitou. Centrum danej chyby je lokalizované v oblasti vyšších zemepisných šírok, ktoré je stotožňované s prízemnou Islandskou tlakovou nížou. Veľkosť tejto chyby je možné vysvetliť výraznou meridionalitou prúdenia v tomto období. V decembri sme síce nepozorovali takú veľkú chybu, avšak amplitúda chyby priemeru odchýlok v analyzovanej oblasti dosiahla hodnotu až 195 m (obr.5). Svedčia o tom aj výstupy polí odchýlok jednotlivých charakteristík (disperzií, priemeru, absolútnej odchýlky, štandardnej odchýlky, šikmosti a špicatosti). Vo všeobecnosti dochádza počas chladného polroku, hlavne v zimných mesiacoch, k nadhodnoteniu mesačných modelových výstupov v európskej a americkej časti kontinentu. Nad Atlantikom zároveň pozorujeme podhodnotenie modelových výstupov. Daný jav zrejماً súvisí s polohou akčných centier atmosféry, reprezentáciou planetárnych vln v 500 hPa hladine. To znamená, že nad oceánom klimatický model CCCM 2000 dáva častejší výskyt cyklonálne zakrivených izohýps a nad kontinentom anticyklonálne zakrivených izohýps. V teplom polroku dochádza k nadhodnoteniu vo vysokých zemepisných šírkach a k podhodnoteniu v stredných a nižších zemepisných šírkach (obr. 1f, 3b, 4b).

Zdá sa, že tendencia podhodnocovať, resp. nadhodnocovať model súvisí s polohou polárneho frontu oddeľujúceho rôzne vzduchové hmoty a s cyklonálnou činnosťou v tejto oblasti. V danej vzduchovej hmote rozostup izobár súvisí s vertikálnym barickým gradientom, ktorý

závisí od teploty vzduchovej hmoty a teda sa odráža aj na geopotenciálnej výške 500 hPa hladiny.

V druhej a tretej fáze spracovania sme vyhodnotili správnosť aplikovanej metodiky modifikácie CCCM 2000 za účelom získania predĺženého časového radu v období 1991-2100. 11-ročné obdobie 1991-2001 bolo použité ako kontrolné obdobie. V tomto časovom intervale sme mali k dispozícii aj výstupy z reanalýz, čo nám umožnilo porovnať modifikovaný rad CCCM 2000 so skutočnosťou. Výsledky tohto kontrolného obdobia sú prezentované v obr. 6a,b, 7a,b. Pre názornosť sme použili priemer odchýlok modifikovaných výstupov a reanalýz a štandardnú odchýlku. Z obrázkov je zrejmé, že pri modifikácii údajov došlo k zmene priemernej odchýlky a poklesu jej absolútnej hodnoty. Pritom rozloženie odchýlok je približne rovnomerné vzhľadom na kladné a záporné hodnoty, čo svedčí o optimálnosti aplikovanej metodiky (viď vzťah 1.1). Je treba si uvedomiť, že modifikovaný rad teraz môže nadhodnocovať, prípadne podhodnocovať hodnoty v tých oblastiach, kde pôvodný modelový rad podhodnocoval, prípadne nadhodnocoval skutočnosť. Tieto výsledky nám umožnili aplikovať daný postup aj na časové obdobie 2002-2100. Vybrané výstupy v období 1991-2100 sú graficky znázornené na obr. 8a,b, 9a,b. Opäť sú k dispozícii všetky štatistické charakteristiky, ale iba pre modifikované hodnoty, keďže odchýlky nie je možné získať vzhľadom na absenciu meraných údajov.

V budúcnosti plánujeme na základe týchto výstupov vypracovať detailnejšie analýzy scenárov zmien klimatickej cirkulácie ovplyvňujúcej naše územie.

Súhrn

Vzhľadom na potrebu regionálnej adaptácie údajov a s ňou spojených problémov je nevyhnutné prispôbiť modelové údaje, získané z globálnych klimatických modelov, vhodne zvolenou metódou, ktorá nenarúša štatistickú štruktúru a konzistentnosť medzi jednotlivými klimatickými prvkami. Pre získanie štatistických závislostí, potrebných pre danú modifikáciu, je dôležité poznať skutočný trojrozmerný obraz atmosféry. Tento obraz atmosféry sú schopné poskytovať numerické modely, ktoré zachytávajú previazanosť jednotlivých meteorologických a klimatických prvkov. V článku sme sa preto zamerali na porovnanie výstupov prepojeného atmosféricko-oceánického modelu CCCM2000 pre geopotenciálnu výšku izobarickej hladiny 500 hPa s reanalýzami, získanými z ERA-40 a na štatistické charakteristiky modelovej klímy v oblasti severného Atlantiku a Európy v referenčnom období 1961-1990. Ďalším cieľom tejto práce bol rozbor možných zmien výškového atmosférického prúdenia nad strednou Európou na základe výstupov CCCM 2000 a ERA-40 v období 2002-2100.

Na posúdenie kvality dynamických vlastností klimatického modelu sa použili základné štatistické charakteristiky. Tieto boli počítané pre všetky uzlové body v zvolenej

oblasti. Výsledkom boli klimatické mapy štatistických charakteristík priestorového rozloženia geopotenciálnych výšok v 500 hPa pre CCCM 2000 a reanalýzy. V ďalšom kroku sa na základe aritmetického priemeru a variačného koeficientu počítaného z referenčného obdobia previedla modifikácia modelových výstupov CCCM 2000 za účelom získania predĺženého časového radu reanalýz geopotenciálnych výšok v 500 hPa v období 1991-2100.

Z porovnania mesačných modifikovaných hodnôt CCCM 2000 a skutočných údajov z projektu ERA-40 sa prejavila tendencia podhodnocovať, resp. nadhodnocovať modelové výstupy v závislosti od ročného obdobia. Analýza týchto tendencií ukazuje na súvislosť s polohou polárneho frontu a s ním súvisiacou cyklónálnou činnosťou. Je zrejmé, že aj napriek značnému zhladeniu výstupov v dôsledku spriemerovania model dosahuje najlepšie výsledky v teplom polroku a relatívne horšie v chladnom polroku.

Kľúčové slová: klimatické modely - všeobecná atmosférická cirkulácia – štatistické charakteristiky – scenáre klimatických zmien – pole geopotenciálu

PodĎakovanie: Výsledky projektov VEGA č.1/1042/04 (Grantová agentúra SR) a APVT-51-006502 boli využité v tomto príspevku.

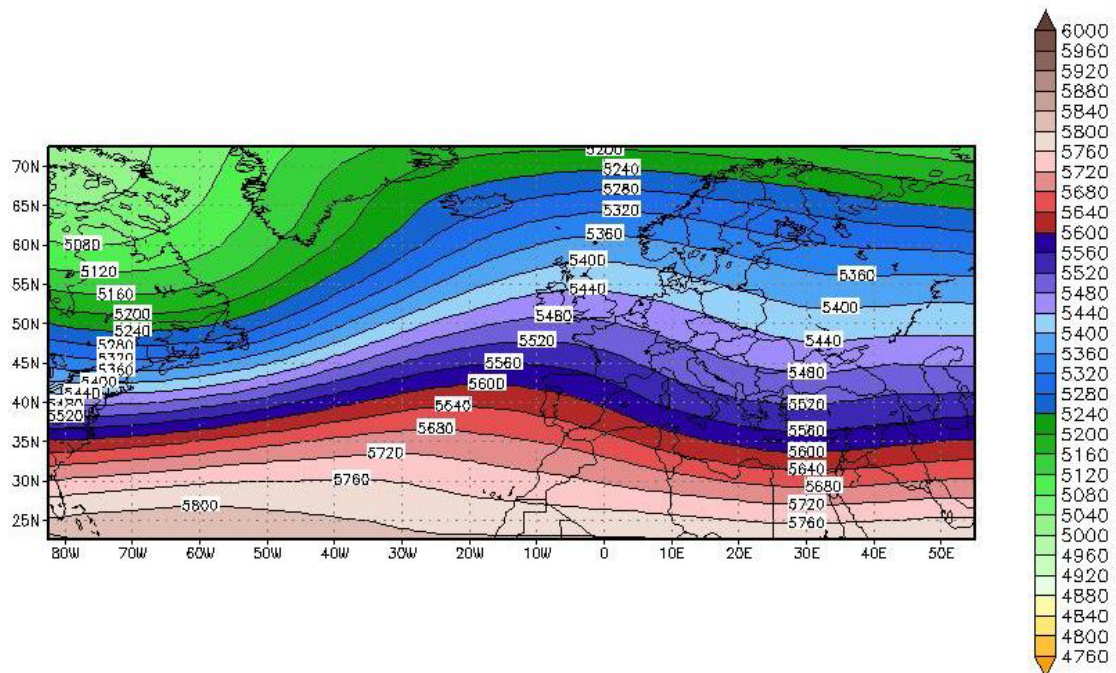
Literatúra:

- [1] Climate change 2001: *The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu (Eds.). Cambridge Univ.Press, UK, 944.
- [2] Corti, S., F. Molteni and T.N. Palmer, 1999: *Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes*. Nature, 398, 799-802.
- [3] Damborská, I., Gaál, L., Lapin, M., Melo, M. (2002): *Scenarios of sea level and upper air pressure fields in the Euro-Atlantic area until 2100*. Acta Meteorologica Universitatis Comenianae, Vol.XXXI., Bratislava, 39-65.
- [4] Monahan, A.H., J.C. Fyfe and G.M. Flato, 2000: *A regime view of northern hemisphere atmospheric variability and change under global warming*. Geophys. Res. Lett., 27, 1139-1142.
- [5] Peixoto, J.P., Oort, A.H. (1992): *Physics of Climate*. ISBN 0-88318-712-4, USA, 520.
- [6] Podnebí ČSSR. Souborná studie. HMÚ Praha, 1969, 357.

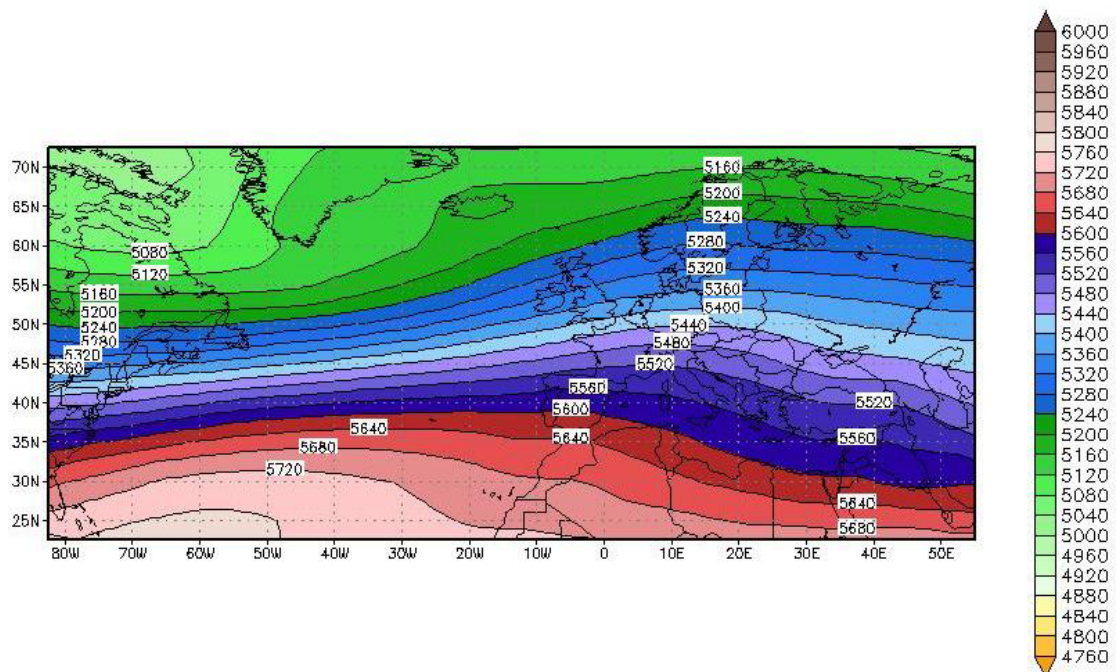
Kontaktná adresa:

RNDr. Ingrid Damborská, CSc., Oddelenie meteorológie a klimatológie KAFZM FMFI UK, Mlyská dolina, 842 48 Bratislava, t.č. 02/60295215, email: damborska@fmph.uniba.sk

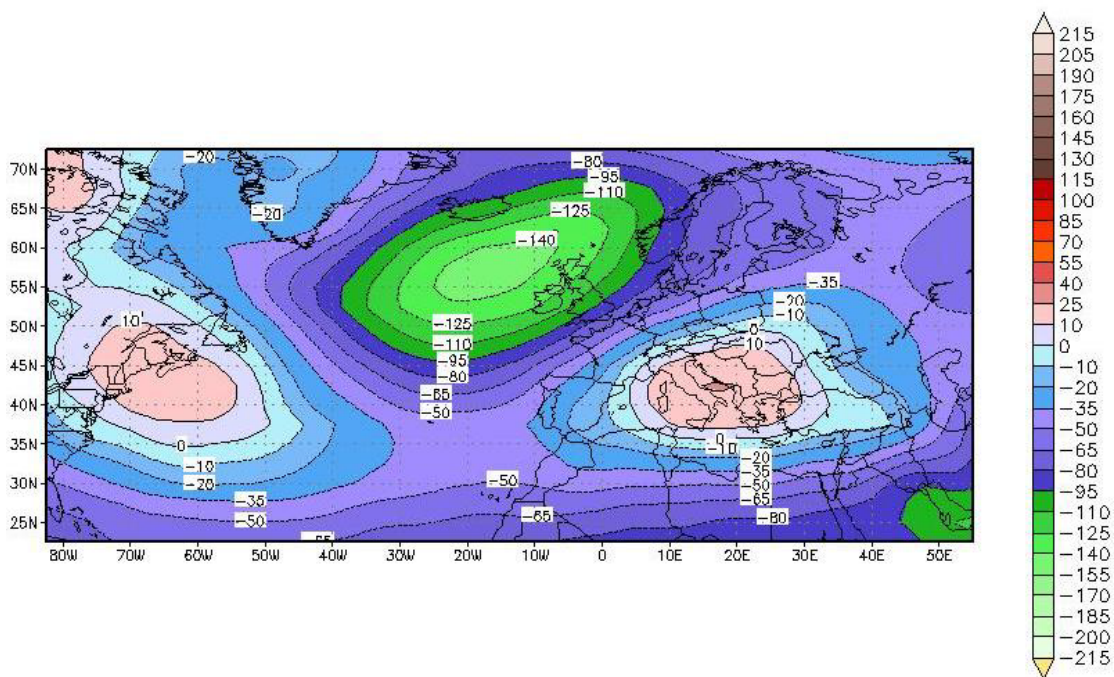
Obrázková príloha



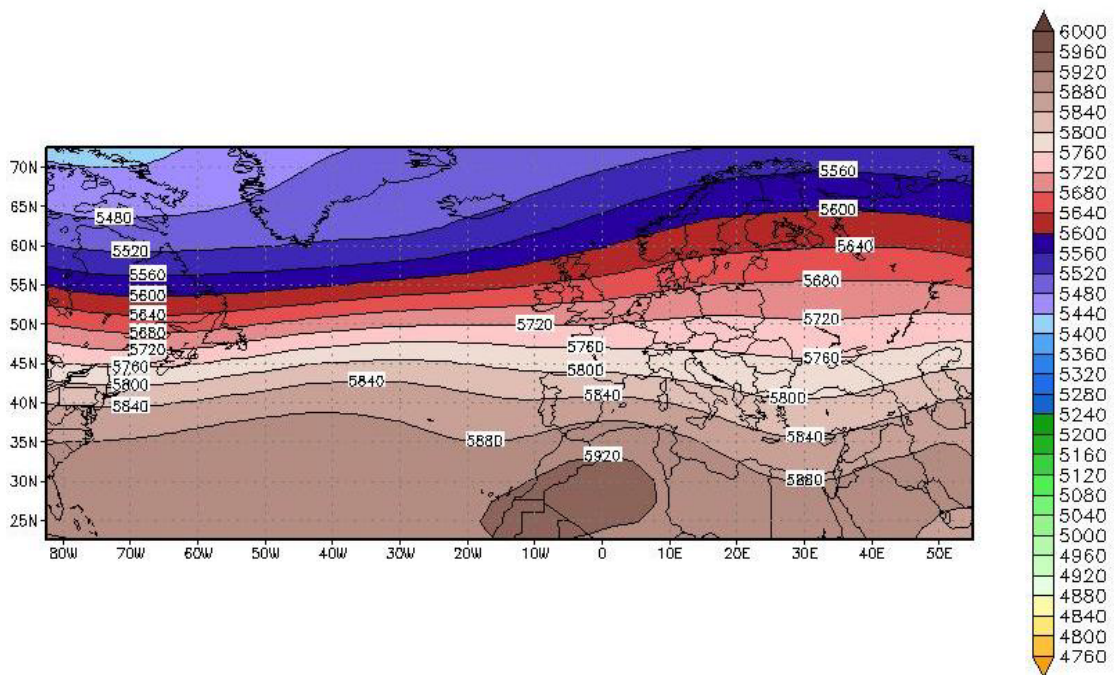
Obr. 1a: Pole hodnôt priemerných februárových geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa v referenčnom období 1961-1990 z reanalýz (ERA-40)



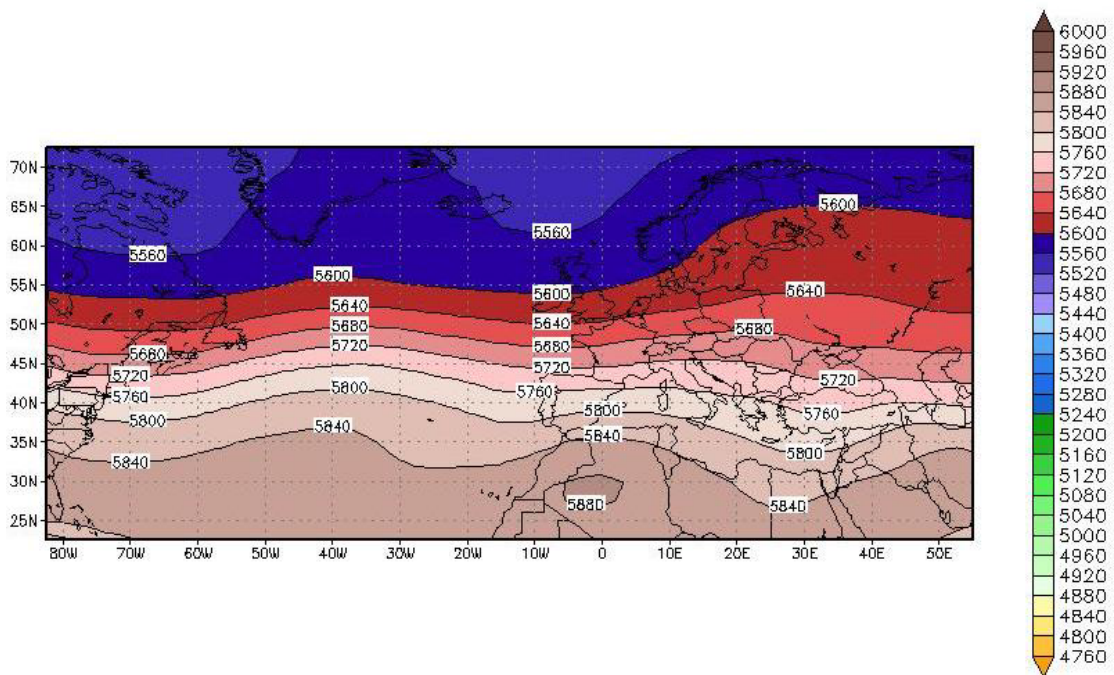
Obr. 1b: Pole hodnôt priemerných februárových geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa v referenčnom období 1961-1990 z CCCM 2000



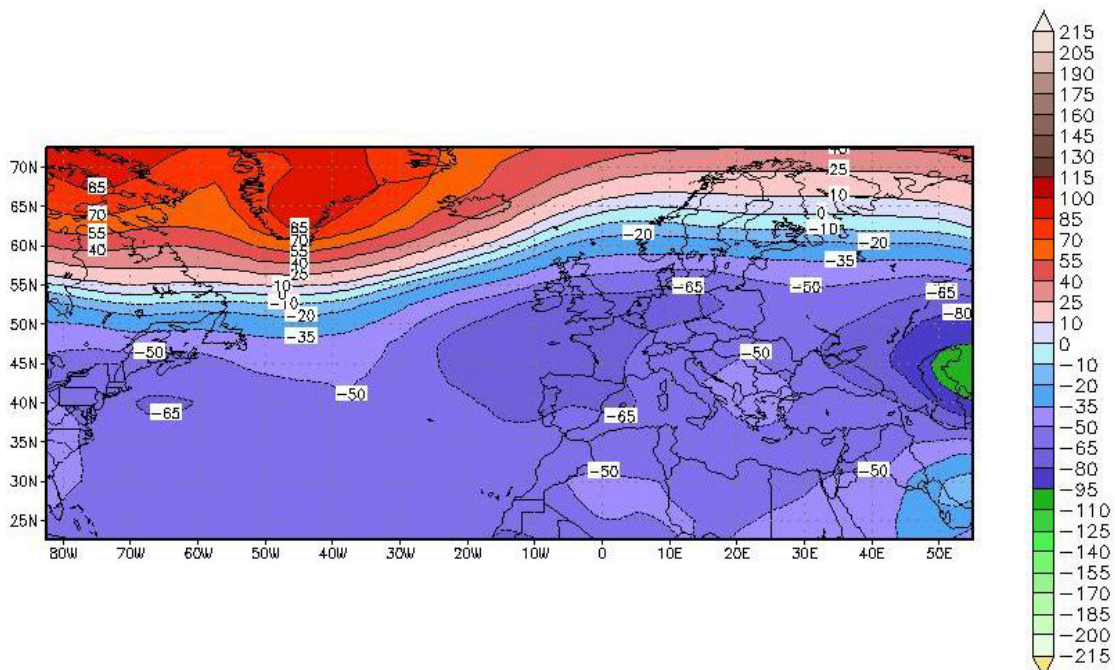
Obr.1c: Pole hodnôt priemerných februárových odchýlok geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa, počítaných z odchýlok modelových a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990



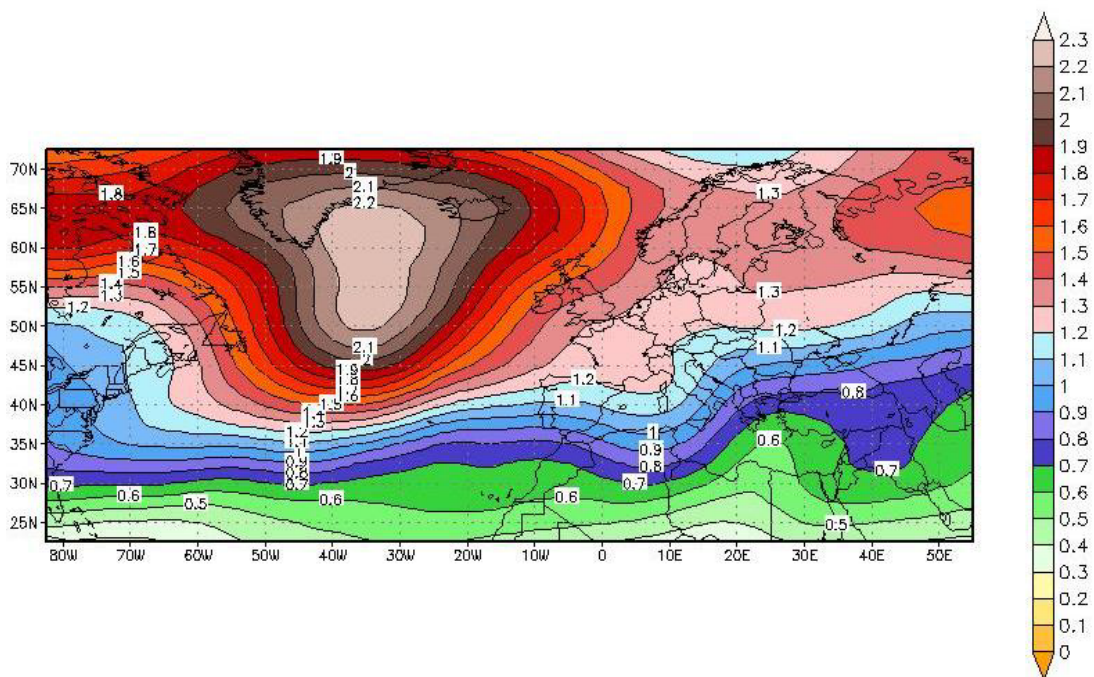
Obr.1d: Pole hodnôt priemerných augustových geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa v referenčnom období 1961-1990 z reanalýz (ERA-40)



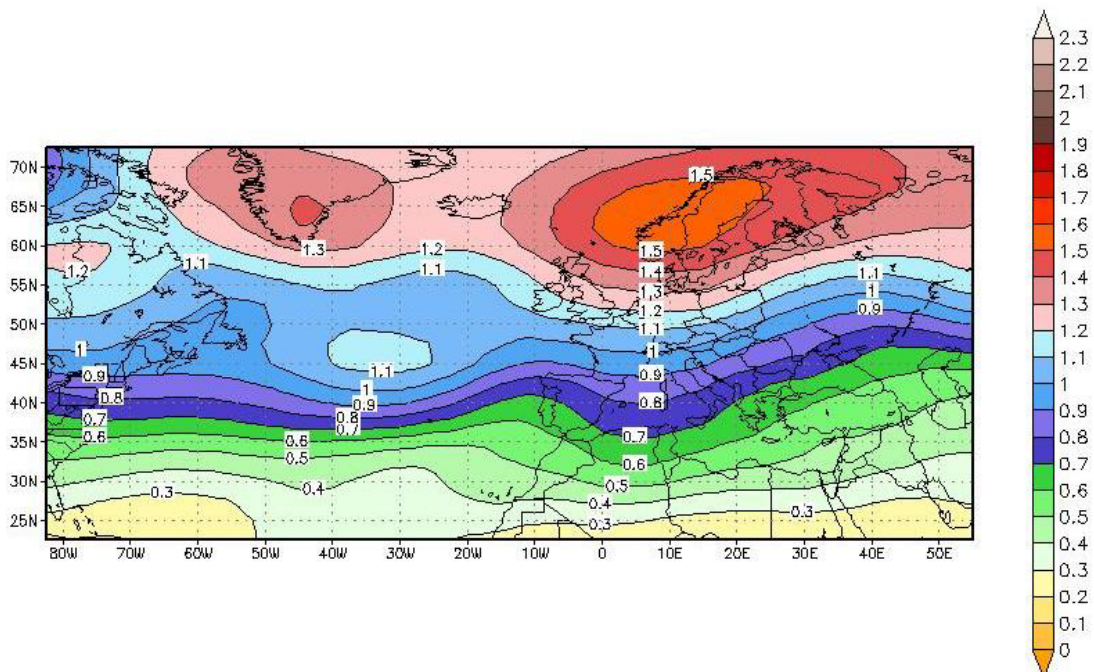
Obr.1e: Pole hodnôt priemerných augustových geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa v referenčnom období 1961-1990 z CCCM 2000



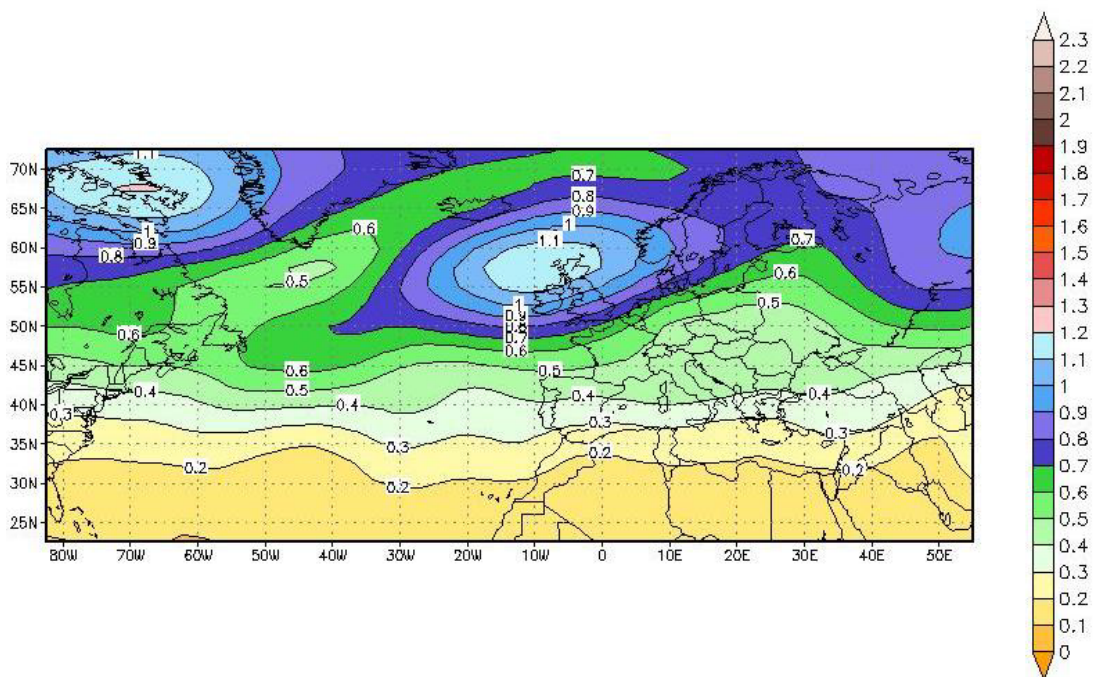
Obr.1f: Pole hodnôt priemerných augustových odchýlok geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa počítaných z odchýlok modelových a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990



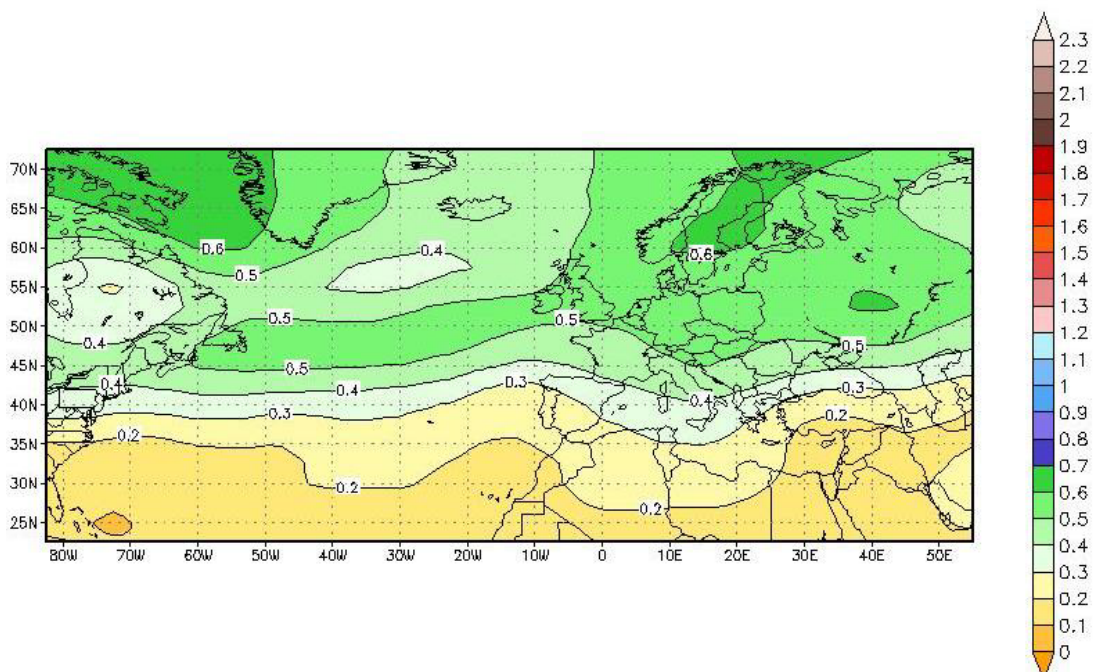
Obr.2a: Pole februárových hodnôt variačných koeficientov [%] v období 1961-1990 z reanalýz (ERA-40)



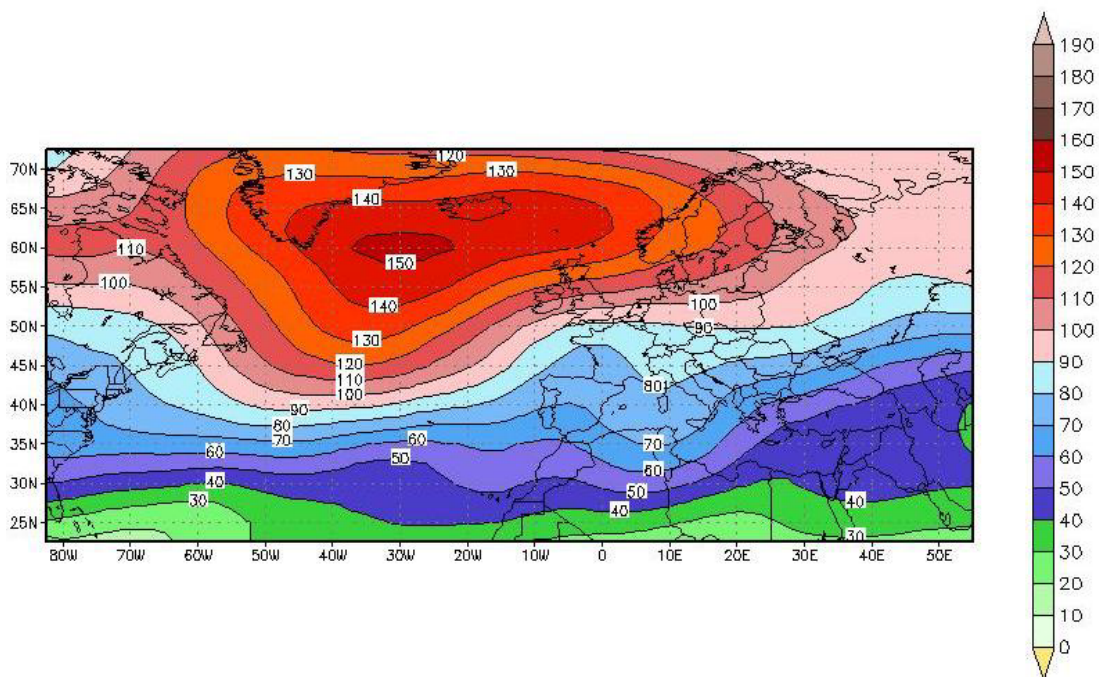
Obr.2b: Pole modelových februárových hodnôt variačných koeficientov [%] v referenčnom období 1961-1990 (CCCM 2000)



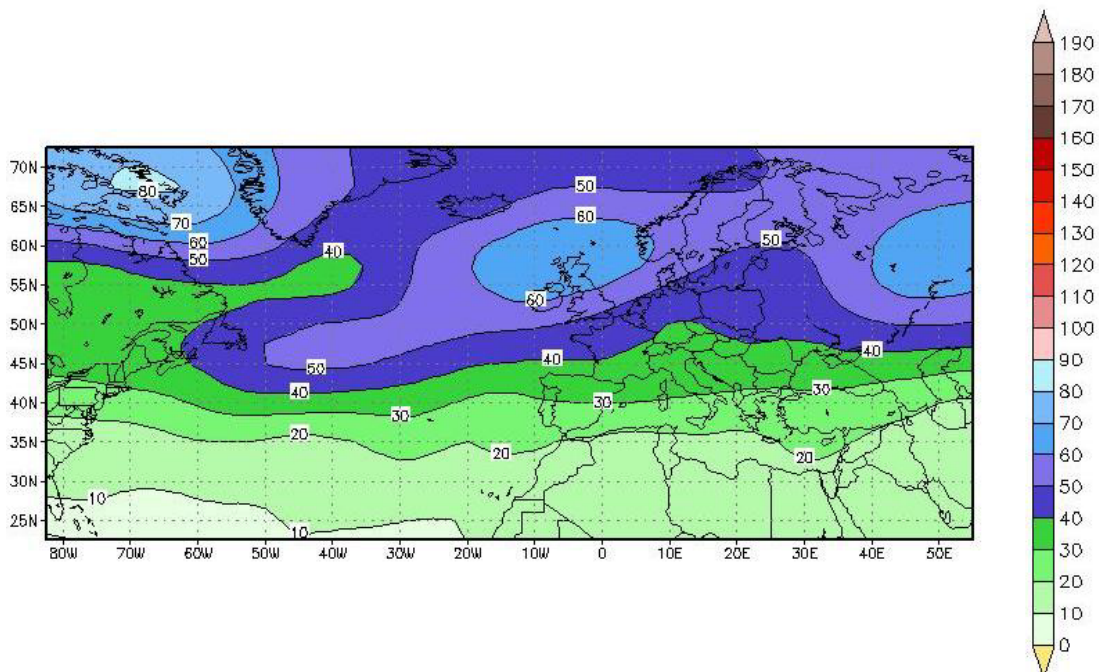
Obr.2c: Pole augustových hodnôt variačných koeficientov [%] v období 1961-1990 z reanalýz (ERA-40)



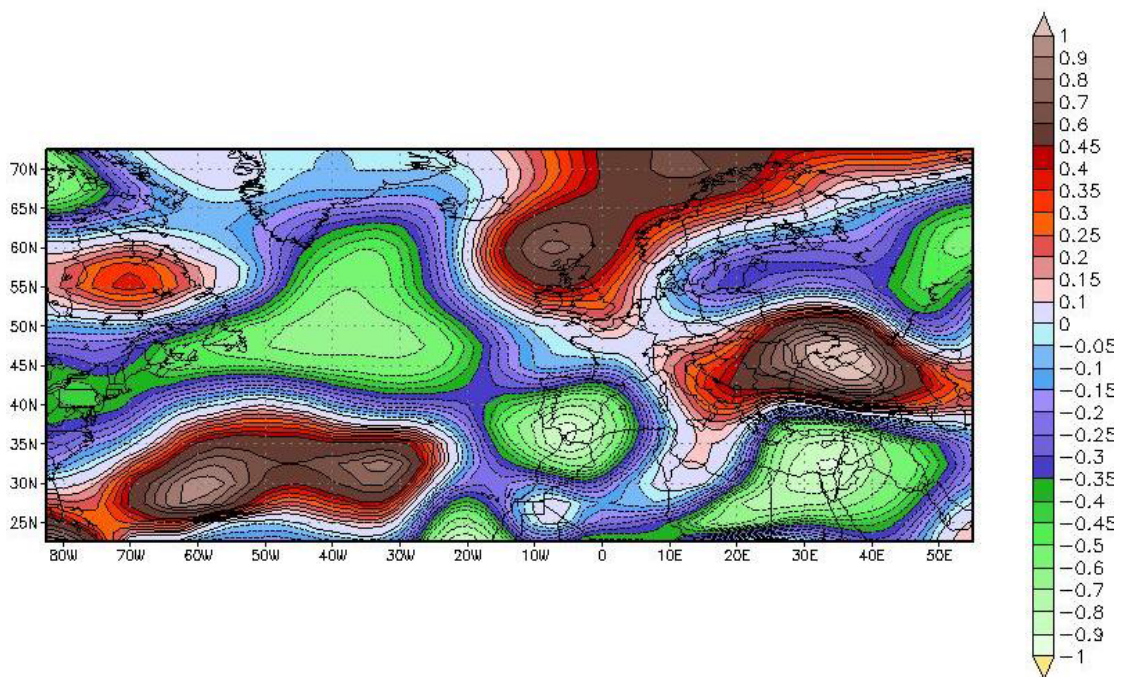
Obr.2d: Pole modelových augustových hodnôt variačných koeficientov [%] v referenčnom období 1961-1990 (CCCM 2000)



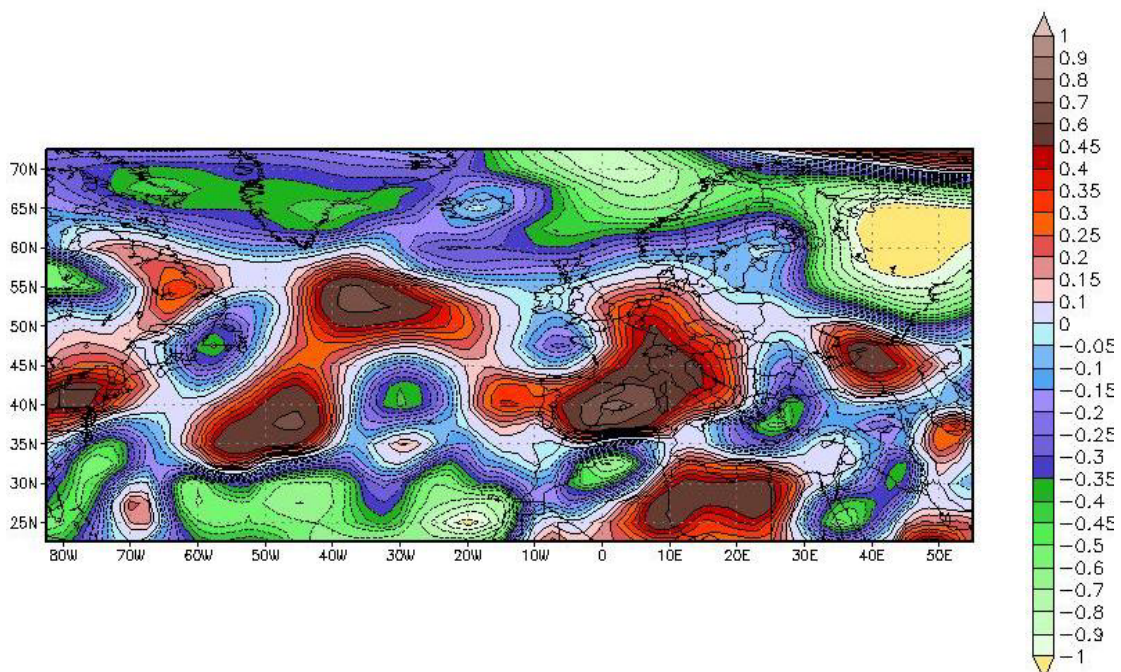
Obr.3a: Pole hodnôt februárových štandardných odchýlok [m] z odchýlok modelových a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990



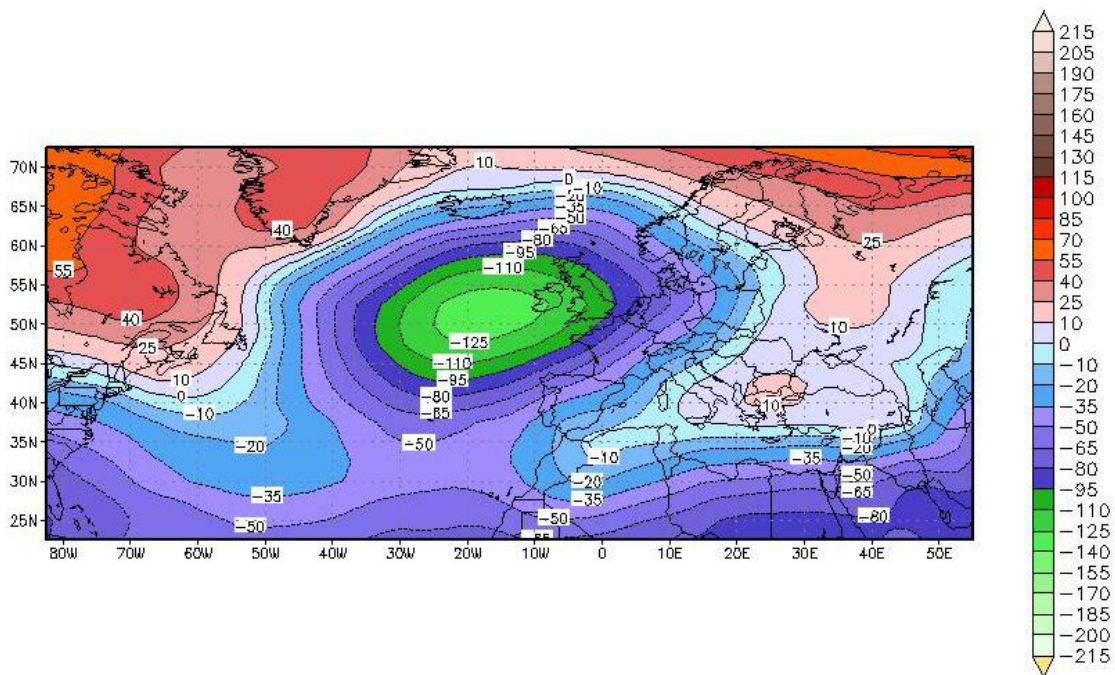
Obr.3b: Pole hodnôt augustových štandardných odchýlok [m] z odchýlok modelových a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990



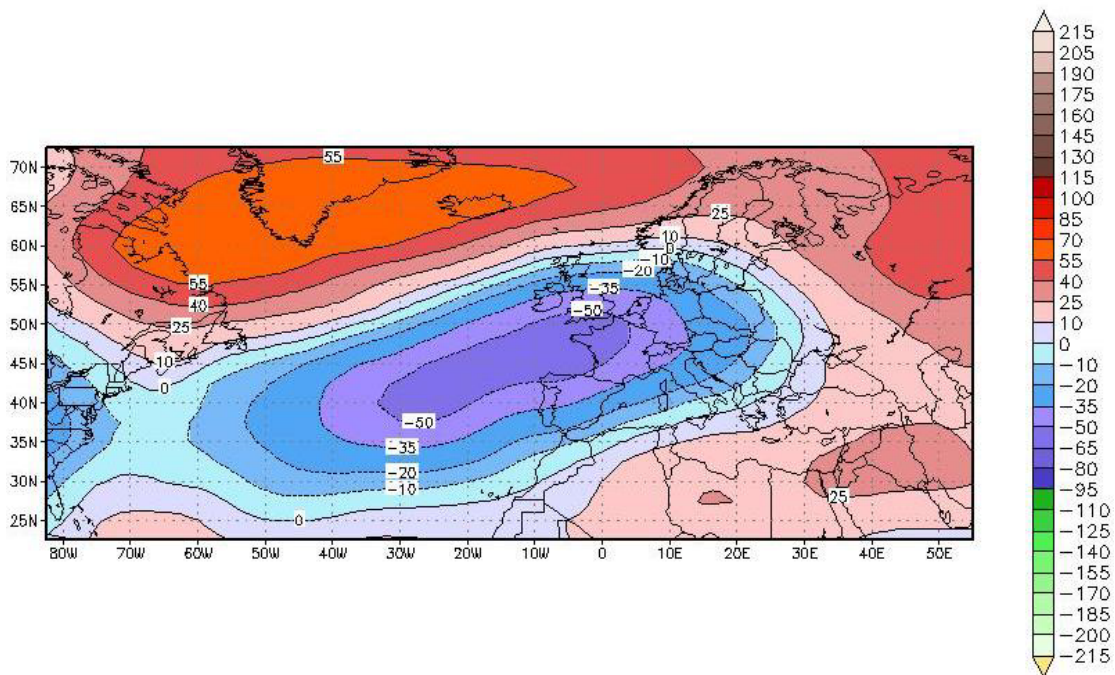
Obr.4a: Pole hodnôt koeficientov šikmosti odchýlok modelových a reálnych údajov vo februári referenčného obdobia 1961-1990



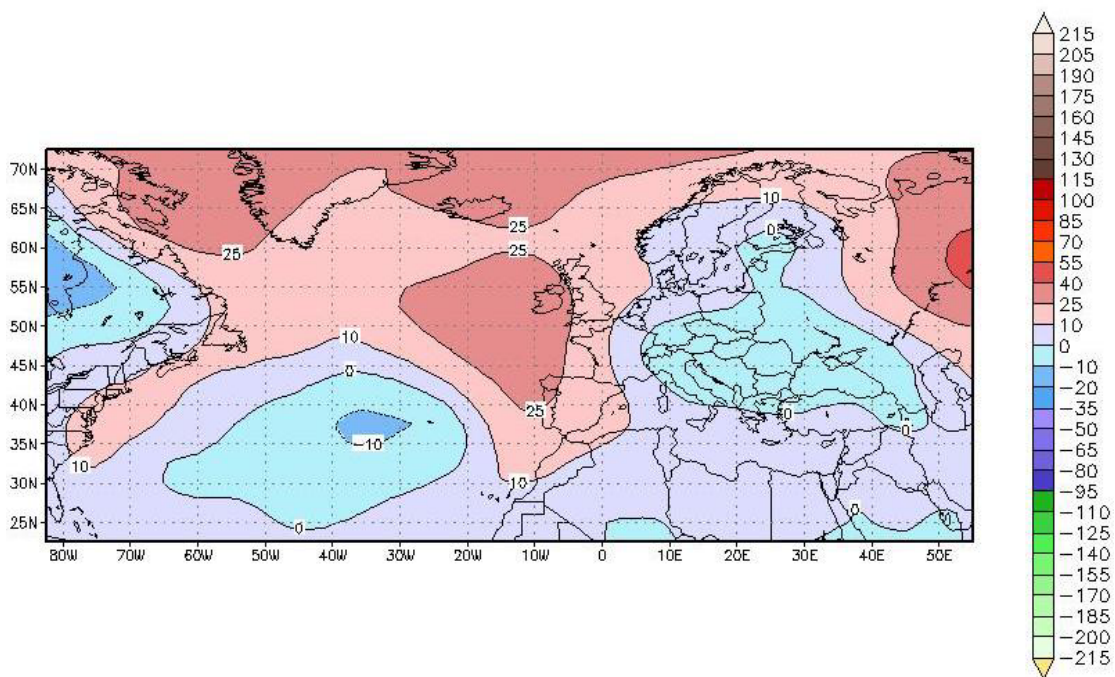
Obr.4b: Pole hodnôt koeficientov šikmosti odchýlok modelových a reálnych údajov v auguste referenčného obdobia 1961-1990



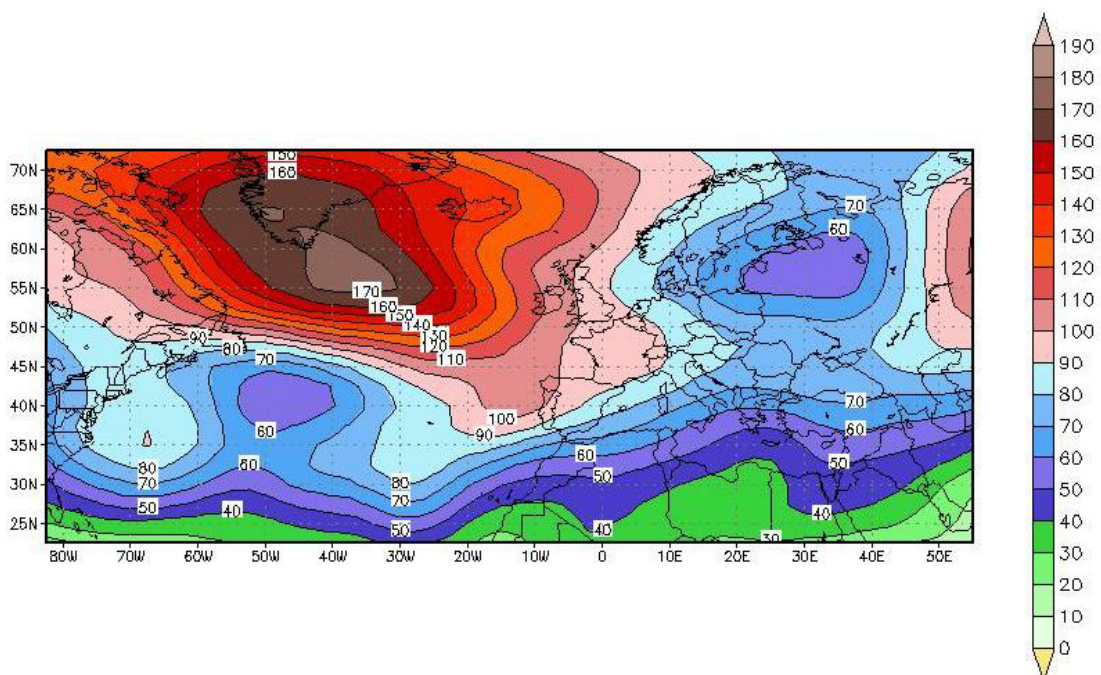
Obr.5: Pole hodnôt priemerných decembrových odchýlok geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa, počítaných z odchýlok modelových a reálnych údajov v referenčnom období 1961-1990



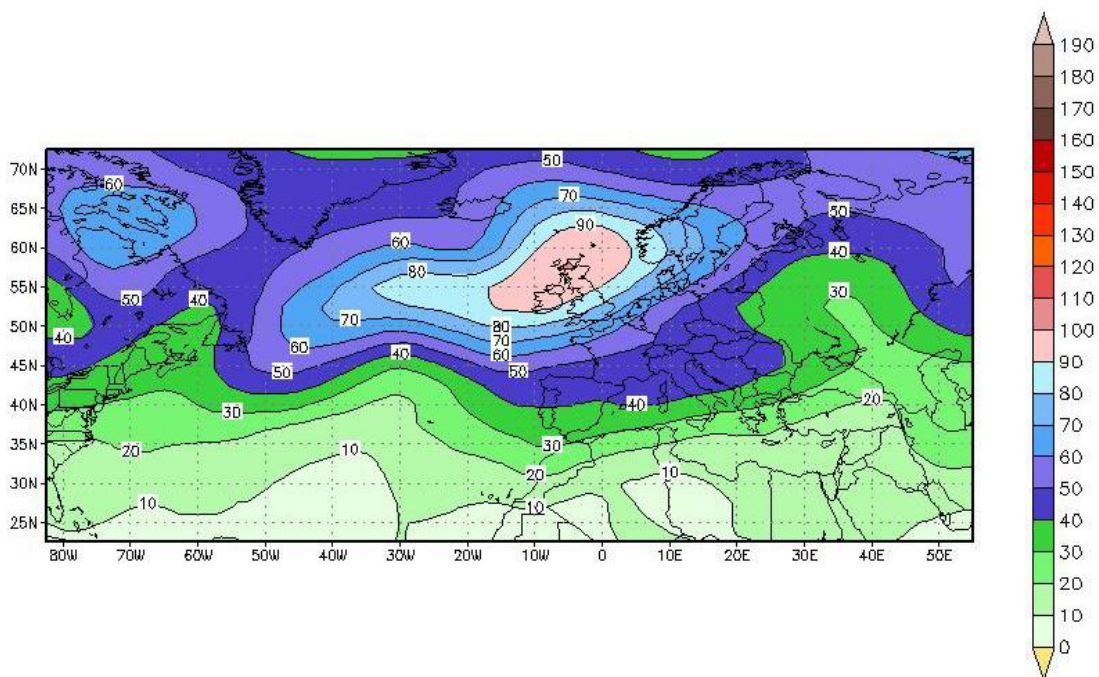
Obr.6a: Pole hodnôt priemerných februárových odchýlok geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa počítaných z odchýlok modelových a reálnych údajov v 11-ročnom kontrolnom období 1991-2001



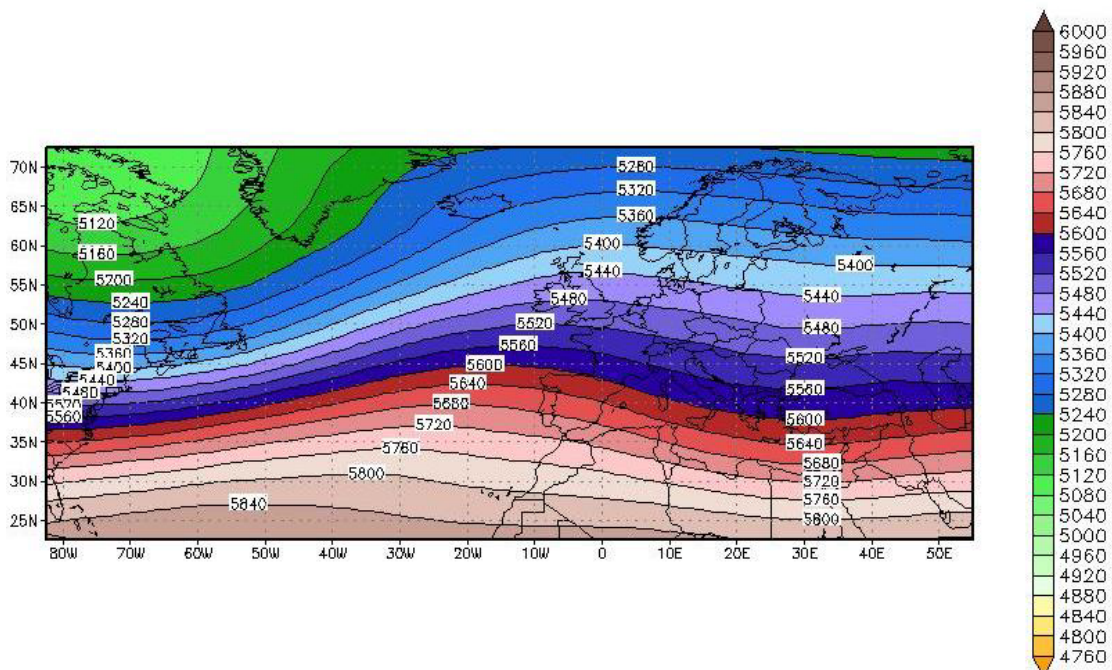
Obr.6b: Pole hodnôt priemerných augustových odchýlok geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa počítaných z odchýlok modelových a reálnych údajov v 11-ročnom kontrolnom období 1991-2001



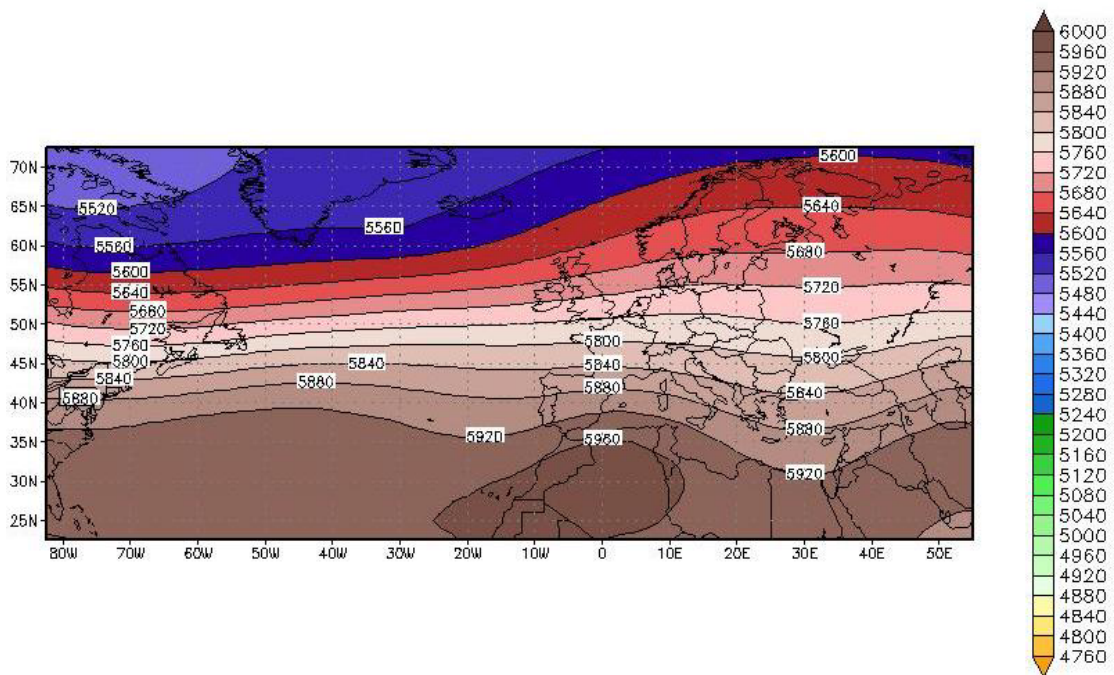
Obr.7a: Pole hodnôt februárových štandardných odchýlok [m] z odchýlok modelových a reálnych údajov v 11-ročnom kontrolnom období 1991-2001



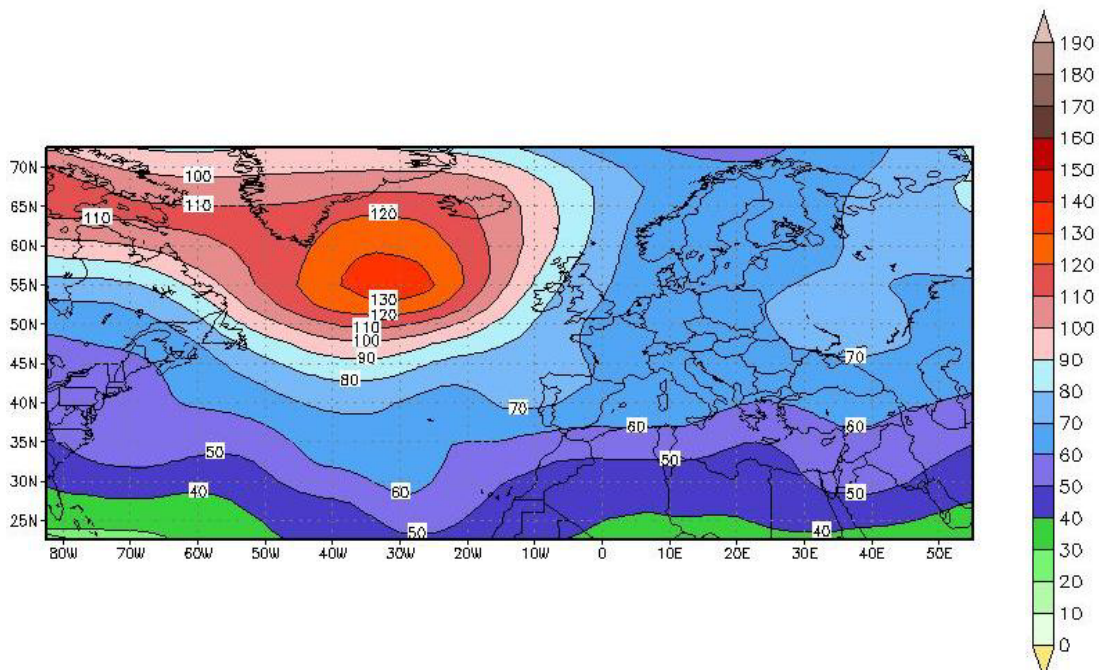
Obr.7b: Pole hodnôt augustových štandardných odchýlok [m] z odchýlok modelových a reálnych údajov v 11-ročnom kontrolnom období 1991-2001



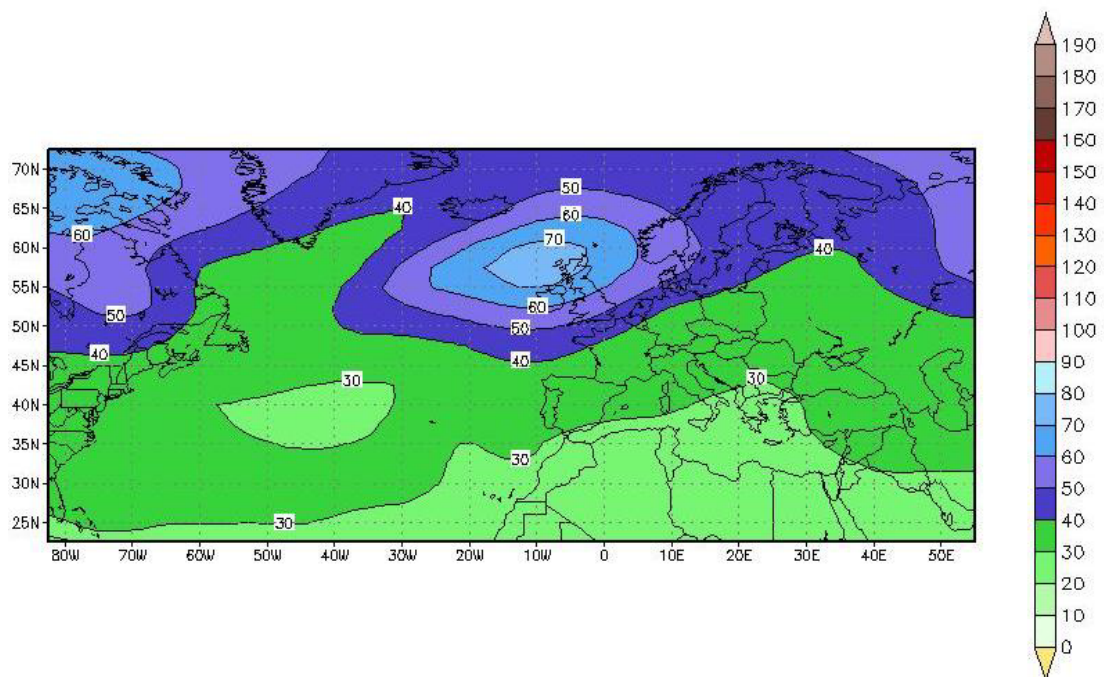
Obr.8a: Scenár zmien hodnôt priemerných februárových geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa v období 1991-2100



Obr.8b: Scenár hodnôt priemerných augustových geopotenciálnych výšok [m] hladiny 500 hPa v období 1991-2100



Obr.9a: Scenár februárových hodnôt štandardných odchýlok [m] geopotenciálnej výšky hladiny 500 hPa v období 1991-2100



Obr.9b: Scenár augustových hodnôt štandardných odchýlok [m] geopotenciálnej výšky hladiny 500 hPa v období 1991-2100